

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-108355

(43)Date of publication of application : 30.04.1993

(51)Int.Cl.

G06F 9/44

G05B 13/02

G06F 15/20

(21)Application number : 03-293844

(71)Applicant : FUJI XEROX CO LTD

(22)Date of filing : 15.10.1991

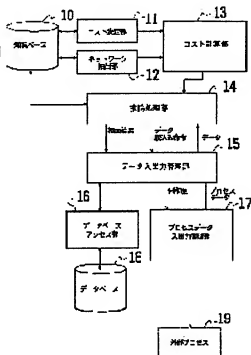
(72)Inventor : IDE KAZUYUKI

## (54) EXPERT SYSTEM

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an expert system which performs the inference with use of the knowledge of an expert and traces an optimum inference process to attain the inference in real time.

CONSTITUTION: An expert system includes an inference processing part 14 which performs the inference based on a rule including a condition part and an execution part, a storage means 10 which stores the knowledge information including the cost information that is used for decision of the rule and the cost of the rule condition and execution parts, an extracting means 12 which extracts a state transition network where the weight is given to the cost based on the links of rules showing an inference process to solve a problem, and a cost calculator means 13 which calculates the cost of each tree structure based on the cost information and selects a tree structure to be inferred in regard of the extracted state transition network.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(51)Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 9/44

3 3 0 K 9193-5B

G 0 5 B 13/02

M 9131-3H

G 0 6 F 15/20

F 7218-5L

審査請求 未請求 請求項の数1(全18頁)

(21)出願番号 特願平3-293844

(22)出願日 平成3年(1991)10月15日

(71)出願人 000005496

富士ゼロックス株式会社

東京都港区赤坂三丁目3番5号

(72)発明者 井出 和之

神奈川県川崎市高津区坂戸100番1号K S

P/R&amp;Dビジネスパークビル 富士ゼロ

ックス株式会社内

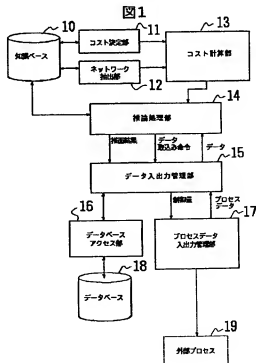
(74)代理人 弁理士 南野 貞男 (外3名)

(54)【発明の名称】 エキスパートシステム

(57)【要約】

【目的】専門家の知識を利用して推論を行うエキスパートシステムにおいて、最適な推論過程を辿り、リアルタイムに推論処理が実行できるエキスパートシステムを提供する。

【構成】条件部および実行部を含むルールによる推論を行う推論処理部を備えたエキスパートシステムにおいて、前記ルールと該ルールの条件部および実行部のコストを定めるコスト情報とを含む知識情報を記憶する記憶手段と、問題解決の推論を行う推論過程を示すルールの連鎖からコストの重み付けされた状態遷移ネットワークを抽出する抽出手段と、抽出された状態遷移ネットワークについてコスト情報に基づいて木構造毎のコストを計算し、推論すべき木構造を選択するコスト計算手段とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 条件部および実行部を含むルールによる推論を行う推論処理部を備えたエキスパートシステムにおいて、

前記ルールと該ルールの条件部および実行部のコストを定めるコスト情報とを含む知識情報を記憶する記憶手段と、

問題解決の推論を行う推論過程を示すルールの連鎖からコストの重み付けされた状態遷移ネットワークを抽出する抽出手段と、

抽出された状態遷移ネットワークについて、コスト情報に基づいて木構造毎のコストを計算し、推論すべき木構造を選択するコスト計算手段と、を備えることを特徴とするエキスパートシステム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、専門家の知識を利用して推論を行うエキスパートシステムに関し、特に、リアルタイムに推論を実行して実行系の制御を行うリアルタイム推論を行うエキスパートシステムに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 リアルタイムエキスパートシステムは、例えば、特開平1-251203号公報、特開平1-22301号公報などに記載の「リアルタイム推論制御システム」の例に見られるように、推論部と、知識ベースと、プロセスデータ等の外部データとのインタフェースを行うデータ入出力管理部などから構成されている。

【0003】 図15は従来のリアルタイムエキスパートシステムの構成例を示す図である。図15において、1は知識データベース、2は推論処理部、3はデータ入出力管理部、4はデータベースアクセス部、5はデータベース、6はプロセスデータ入出力管理部である。7は外部プロセスを示している。このような構成のリアルタイムエキスパートシステムでは、外部プロセス7からのデータをプロセスデータ入出力管理部6およびデータ入出力管理部3を介して取り込み、このデータと知識データベースに1に格納されている知識（制御ルール）を用いて、推論処理部2によりリアルタイムで推論処理を実行し、推論結果をデータ入出力管理部3を介して制御量として、当該制御量をプロセスデータ入出力管理部6から外部プロセス7に出力してプロセス制御を行う。また、このシステムでは実績データを格納するデータベース機能のためのデータベース5およびデータベースアクセス部4を備えており、この実績データのデータベース機能を利用して専門家の知識をシミュレーションにより検証し、検証した知識を直接的に、リアルタイム制御に利用するようにしている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上述のようなリアルタ

ム処理を行うエキスパートシステムにおいては、プロセスデータおよびデータベースからのデータを基に、推論を一定時間内に行うことが必要であるが、推論を行うについて「複数の適用可能なルール内のどのルールを選択すべきか、また、プロセスデータやデータベースから得られるデータの内どのデータを利用すべきか」という如何にして推論を行うかという点について判定基準が設けられておらず、推論処理が効率よく実行されるように構成されていない。このため、リアルタイムに推論処理を行い、リアルタイムに制御量を外部プロセスに対し出力しなければならぬため、推論処理部に高速動作可能なハードウェア装置を用いなければならない、また、複雑な推論過程を進める場合には、一定時間内に十分な推論処理を行えない場合が生ずるので、変化が速いプロセス制御には適用できないという問題がある。

【0005】 ところで、上述の如何にして推論を行うかという判定基準、すなわち、推論に至るための戦略は、専ら推論ルールを記述する開発者に任されているが、開発者にとっても、各種の状況に応じた柔軟性のあるルールを記述することは非常に困難である。このため、従来のリアルタイムエキスパートシステムにおいては、リアルタイムに最適な推論が行なわれるという保証はないという問題がある。

【0006】 本発明は、上述のような問題点を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、専門家の知識を利用して推論を行うエキスパートシステムにおいて、最適な推論過程を辿り、リアルタイムに推論処理が実行できるエキスパートシステムを提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 上記の目的を達成するために、本発明のエキスパートシステムは、条件部および実行部を含むルールによる推論を行う推論処理部を備えたエキスパートシステムにおいて、前記ルールと該ルールの条件部および実行部のコストを定めるコスト情報と、を含む知識情報を記憶する記憶手段（10；図1）と、問題解決の推論を行う推論過程を示すルールの連鎖からコストの重み付けされた状態遷移ネットワークを抽出する抽出手段（12；図1）と、抽出された状態遷移ネットワークについて、コスト情報に基づいて木構造毎のコストを計算し、推論すべき木構造を選択するコスト計算手段（13；図1）とを備えることを特徴とする。

## 【0008】

【作用】 本発明のエキスパートシステムにおいて、記憶手段（10；図1）には、条件部および実行部を含むルールと該ルールの条件部および実行部のコストを定めるコスト情報とを含む知識情報が記憶される。このコストとは、条件部および実行部の処理を実行した場合に要するシステムの負荷を意味している。例えば、条件部または実行部に係る処理結果が得られるまでの時間（C

PU時間、データアクセス時間、ネットワーク応答時間など)、使用データ量、使用主記憶容量などが対応する。推論処理を行う場合、抽出手段(12;図1)が、問題解決の推論を行う推論過程を示すルールの連鎖からコストの重み付けされた状態遷移ネットワークを抽出し、コスト計算手段(13;図1)が、抽出された状態遷移ネットワークについて、コスト情報に基づいて木構造毎のコストを計算し、推論すべき木構造を選択する。

そして、推論処理部が、選択された木構造の推論過程から条件部および実行部を含むルールによる推論を行う。

【0009】これにより、エキスパートシステムにおいては、最適な推論過程により推論処理が行なわれるので、無駄な処理を省略することが可能となり、リアルタイム推論が可能となる。このように、エキスパートシステムにおいて推論を行うための知識と、その知識を適用するための知識(コスト情報)を分離し、知識の適用をコストという判定基準で計量することにより、適切な推論処理が可能となる。

【0010】このため、プロセス制御を行うエキスパートシステムにおいても、プロセスの状況や時間的、費用的、計算機資源などの制約条件が変化しても、柔軟に対応して適切な推論が実行可能となる。また、あらかじめ推論の時間や費用などが指定された制度の範囲内で行われることが保証されるのでプロセス制御の失敗や推論費用の超過などの事態が生じることがなくなる。

【0011】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して具体的に説明する。図1は本発明の一実施例にかかるエキスパートシステムの要部の構成を示すブロック図である。図1において、10は知識ベース、11はコスト決定部、12はネットワーク抽出部、13はコスト計算部、14は推論処理部、15はデータ入出力管理部、16はデータベースアクセス部、17はプロセスデータ入出力管理部、18はデータベース、19は外部プロセスを示している。

【0012】知識ベース10には、知識情報として、条件部および実行部を含むルールが記憶され、更に、各ルールの条件部および実行部のコストを定めるコスト情報とが記憶される。ここでのコスト情報としては、条件部および実行部の処理を実行した場合に要するシステムの負荷を指示する量として、条件部のコスト情報が、条件部を検査するための時間コストとして対応付けられ、また、同様に実行部のコスト情報が、実行部で指示された処理を行うための時間コストとして対応付けられる。これらのコスト情報は、例えば、実行部の処理内容、各検査などに対応してテーブル形式では登録されており、実行部のコスト情報が、処理のアルゴリズムにより判別されて設定される。

【0013】コスト決定部11は、各ルールの条件部の検査コスト、実行部の実行コストが推論処理を行う対象

により変化する場合のコストを決定する場合の処理を行う処理ユニットである。ネットワーク抽出部12は、知識ベース10から各ルールを取り出し、各々にルールを状態と条件・検査対とに分解し、状態はノードとして登録し、条件・検査対はそれぞれのコストを重みに持つアークとして登録し、推論過程を示す状態遷移ネットワークを抽出する。コスト計算部13は、抽出された状態遷移ネットワークについて、コスト情報に基づいて木構造毎のコストを計算し、推論すべき木構造を選択する。そして、推論処理部14が、選択された木構造の推論過程での条件部および実行部を含むルールによる推論を行う。

【0014】なお、データ入出力管理部15はプロセスおよびデータベースからのデータ入出力を管理する処理ユニットである。データベースアクセス部16はデータベース18へのアクセスを行い、プロセスデータ入出力管理部17は外部プロセス19からのデータ取り込み、外部プロセス19への制御命令の適用を行う。

【0015】このように構成されるエキスパートシステムの動作の概要を説明しておく、と推論処理を行う場合、ネットワーク抽出部12が、知識ベース10に格納されたルールを用いて、問題解決の推論を行う推論過程を示すルールの連鎖からコストの重み付けされた状態遷移ネットワークを抽出し、コスト計算部13が、抽出された状態遷移ネットワークについて、コスト情報に基づいて木構造毎のコストを計算し、推論すべき木構造を選択する。そして、推論処理部14が、選択された木構造の推論過程から条件部および実行部を含むルールによる推論を行う。

【0016】図2は、本実施例のエキスパートシステムにおけるルールの概念を説明する図である。ここでのルール20は、図2に示すように、「IF 条件部 THEN 実行部」型のデータ構造を有している。ルールの条件部21は、条件部を判定するための検査部23にリンクされ、検査部23に付随してそのコスト情報を設定する検査コスト部24が設けられている。また、実行部22にもそれに付随してそのコスト情報を設定する実行コスト部25が設けられている。このように、ここでの各ルール20は、検査部23および実行部22にそれぞれに固有なコスト値を属性値として保持するが、コスト計算時にユーザによる入力その他の方法でコスト値を決定することができるようなデータ構造となっている。

【0017】図3は、問題解決の推論を行う推論過程を示すルールの連鎖から抽出されたコストの重み付けされた状態遷移ネットワークの一例を示す図である。ルールプロダクションシステムによる推論処理は、図3に示すように、各ルールの条件検査、実行の処理を繰り返しながら、各々の状態を遷移し、最終の状態に至って推論結果が得られる。したがって、初期状態から最終状態に至るまでの状態を列挙し、それらの状態遷移にかかわる

ルールを調べることで、推論処理におけるルールの並列な推論過程の順列関係を抽出し、互いに並列な要素を取り除いたサブネットワーク（木構造）を複数個取り出すことができる。図3では、互いに並列な要素を取り除いたサブネットワーク（木構造）として、破線で囲んで示すように、状態A→状態B→…のルートで遷移するサブネットワーク31が取り出され、また、同様な関係の別のサブネットワークとして、一点鎖線で示すように、状態A→状態C→…のルートで遷移するサブネットワーク32が取り出された例を示している。

【0018】このようにして求められた推論過程の状態遷移ネットワークに対し、コスト計算部13が、前述のようにして各ルール（条件部、実行部）に設定されているコスト情報により各々推論過程を辿るルートの全体のコストを組み合わせて、各サブネットワークにおける推論処理の全体のコストを計算する。そして、各サブネットワークにおける推論過程の全体のコストを相互比較して、目的とする最大コストが規定の総コスト以下となる推論過程が求められるか、また、そのような推論過程が存在しないことが判断される。このようにして、無駄な推論処理を省略することが可能となり、エキスパートシステムにおいては、最適な推論過程により推論処理が行われるので、リアルタイム推論が可能となる。

【0019】このため、プロセス制御を行うエキスパートシステムにおいても、プロセスの状況や時間的、費用的、計算機資源などの制約条件が変化しても、柔軟に対応して適切な推論が実行可能となる。また、あらかじめ推論の時間や費用などが指定された制限の範囲内で行われることが保証されるのでプロセス制御の失敗や推論費用の超過などの事態が生じることがなくなる。

【0020】図4はエキスパートシステムにおいて最適な推論過程を選択して推論処理を行うまでの前処理の流れを示すフローチャートである。図4を参照して説明する。この前処理では、推論処理を開始すると、まず、ステップ41において、状態遷移ネットワークを形成するため、初期状態を決定し、次に、ステップ42において到達可能な状態を列挙する。次に、ステップ43において、各々の状態をルールに従いリンクして、各々の状態から状態遷移ネットワークを形成する。次に、ステップ44において、形成した状態遷移ネットワークの各状態の間を辿る推論過程から各ルールの検査部を列挙し、次のステップ45において、最終状態に至る各状態の遷移関係からネットワークを分割し、それぞれのサブネットワークを抽出する。このサブネットワークの分割処理では、初期状態から最終状態に至るまでの状態を列挙し、それらの状態遷移にかかわるルールを調べ、推論処理におけるルールの並列な推論過程の順列関係を抽出し、互いに並列な要素を取り除いたサブネットワークを取り出し、状態遷移ネットワークをサブネットワークに分割する。

【0021】そして、次のステップ46において、分割した各々のサブネットワーク毎にそれぞれのコスト計算を行う。次に、ステップ47において、前に計算した各々のサブネットワークのコスト計算結果を比較判定し、コスト値の最大値が最小のサブネットワークを最適な推論過程として選び、最適ネットワークの決定を行う。次のステップ48において、選択したサブネットワークに関係する関係ルールのみを活性化し、推論実行の処理49に進む。

10 【0022】次に、推論コストの判定により最適な推論を行う処理例について説明する。理解を容易とするため、推論のためのデータは全てデータベースから得られるものとし、データベースへの問い合わせは、1件につき、一定額の課金が行われるものとする。このようなエキスパートシステムにおいては、推論のコストはデータベースの問い合わせ件数、すなわち、各ルールにおける条件検査の個数の総和から求めることができる。

【0023】図5は、株購入問題の推論処理を行うエキスパートシステムにおけるルールの一例を示す図である。図5に示すように、このシステムで利用する各ルールは、

ルール50：好景気かつ低金利の状態であれば、設備投資が行われる。

ルール51：貿易摩擦の状態であれば、公共投資が行われる。

ルール52：不景気かつ財政健全の状態であれば、公共投資が行われる。

ルール53：好景気かつ高地価の状態であれば、個人消費が行われる。

30 ルール54：低地価かつ低金利の状態であれば、住宅投資が行われる。

ルール55：設備投資が行われる状態であれば「素材関連産業が買い」。

ルール56：公共投資が行われる状態であれば「建設関連産業が買い」。

ルール57：個人消費が行われる状態かつ高株価状態であれば、「自動車関連産業が買い」。

ルール58：個人消費が行われる状態であれば「家電関連産業が買い」。

40 ルール59：住宅消費が行われる状態であれば「建設産業が買い」。

であるとする。

【0024】この例のシステムでは、初期状態は全ての条件が不明であり、したがって、全て最終状態に到達可能である。まず「素材関連産業が買い」という最終状態に到達するための前提状態を調べると、ルール55により設備投資が行われる状態であることがわかる。設備投資が行われる状態の前提は、ルール50により好景気かつ低金利の状態であり、好景気／不景気を判定するためには経済成長の検査が必要である。また、低金利／高金

利を判定するためには公定歩合の検査が必要である。したがって、「素材関連産業が買い」という最終状態に到達するための検査として、経済成長の検査と、公定歩合の検査が挙げられる。

【0025】次に「建設関連産業が買い」について調べると、ルール56およびルール59により、公共投資または住宅投資が行なわれる状態であることが前提である。公共投資が行われる状態の前提は、ルール51により貿易摩擦の状態であり、または、ルール52により不景気かつ財政健全の状態である。貿易摩擦状態を判定するのは、貿易黒字の検査と為替レートの検査である。また、財政健全状態を判定するのは国債発行残高の検査であり、好景気/不景気を判定するためには経済成長の検査である。

【0026】住宅投資が行われる状態の前提は、ルール54により、低地価かつ低金利の状態である。低地価/高地価を判定するのは地価指数の検査である。低金利を判定するのは公定歩合の検査である。また、「自動車関連産業が買い」の状態は、ルール57により、個人消費が行われる状態かつ高株価の状態である。高株価を判定するのは東証出来高の検査である。個人消費が行われる状態の前提は、ルール53により、好景気かつ高地価の状態である。好景気/不景気を判定するためには経済成長の検査であり、高地価を判定するのは、地価指数の検査である。

【0027】図6は、株購入問題のルール群により抽出された状態遷移ネットワークの推論ネットワークの一例を示す図である。上述のようにして、株購入問題のルール群から状態遷移ネットワークが形成され、状態遷移ネットワークの全ての遷移過程について必要な検査が確定され、図6に示すように、ここで状態遷移ネットワークにおいて、互いに並列する2つのサブネットワーク61、サブネットワーク62に分離される。この場合のサブネットワーク61の条件検査は、経済成長、公定歩合、地価指数、東証出来高の各検査であり、合計4回の検査が必要である。また、サブネットワーク62の条件検査は、経済成長、公定歩合、東証出来高、国債発行残高、貿易黒字、為替レートの各検査であり、合計6回の検査が必要である。したがって、この場合、コストの最大値が最小のサブネットワーク61を最適な推論過程として選ぶことにより、検査の最大コストを4回以下に抑えることができる。

【0028】以上に説明したように、本実施例のエキスパートシステムによれば、知識ベースに格納された各々のルールから推論過程の状態遷移ネットワークを形成し、推論過程の状態遷移ネットワークに対し、各ルール（条件部、実行部）に設定されているコスト情報により各々推論過程を辿るルート全体のコストを組み合わせて、各サブネットワークにおける推論処理の全体のコストを計算する。そして、各サブネットワークにおける推

論過程の全体のコストを相互比較して、目的とする最大コストが規定の総コスト以下となる推論過程のサブネットワークを選択して、当該サブネットワークによる推論過程での推論処理を行う。

【0029】このような一連の推論処理においては、知識ベースに格納されたルールから状態遷移ネットワークを抽出する処理を行うが、この場合に、抽出する状態遷移ネットワークの各状態のノード間を結び付けるアークにコスト情報を付加して、ネットワークを構成するようにしてもよい。このような状態遷移ネットワークとすると、コスト計算のためのサブネットワークを分離する場合に、推論過程を辿るノードのアークを順次辿るだけでなく、サブネットワークのコスト計算を行うことができる。このような処理例について次に説明する。

【0030】図7はネットワーク抽出処理の地の処理例を説明するためのフローチャートである。図7を参照して説明する。ここでネットワーク抽出処理では、まず、ステップ71において、知識ベースのルールの読み込みを行う。次のステップ72において、ネットワークの条件部を取り出して、条件部を状態と条件・検査対に分解する。次に、ステップ73において、状態はノードとして登録し、ステップ74において、条件・検査対は、それぞれのコストを重みに持つアークとして登録する。次にルールの実行部に対しては、更新済の状態（状態更新部）をノードとして登録し、ステップ77において、副作用部はコストを重みに持つアークとして登録する。そして、次のステップ78において、解析したルールに処理済としてマークを付加し、次にステップ79において、マークされていないルールが知識ベースに存在するか否かを判定する。マークされていないルールが存在しない場合は、全てのルールが処理済なので一連の処理を終了する。また、マークされていないルールが存在する場合は、ステップ71に戻り、未処理のルールに対して、再びステップ71からの処理を繰り返す。ルールを解析して状態遷移ネットワークを形成する。なお、条件部から取り出されたノードと、実行部から取り出されたノードに同一のものであれば1つにする。当該ノードに付加条件が存在すれば、それをアークとして次のノードに繋ぐようにする。

【0031】このような処理を行い、状態遷移ネットワークが形成されるが、その後、サブネットワークに分離して、サブネットワーク毎のコスト計算を行い、最適なコスト戦略決定を行い、最終的なコスト決定を行う。図8は最終コスト決定の全体の推論処理フローを示すフローチャートである。図8を参照して説明すると、この処理では、既に形成されている状態遷移ネットワークに対して、まず、ステップ81の処理において、深さ優先制

御によるパスの枚数と、パスのコスト計算を行い、ステップ82の処理において、トップノード、リーフノードの対を固定して各々のパスをコスト順にソートする。そして、次のステップ83の処理により、各トップノードから到達可能なリーフノードへの組合せ可能な各パスについて、総コストの比較を行い、最終的なコスト決定を行う。

【0032】図9は最良コスト戦略決定のアルゴリズムを説明するフローチャートである。このアルゴリズムの処理は、図8のステップ81の処理に対応する。この最良コスト戦略決定の処理では、深さ優先制御によるパスの枚数およびコスト計算の処理を行う。処理を開始すると、まず、ステップ90において、既に形成されている状態遷移ネットワークに対して、未探索のトップノードがあることを確認してから、次のステップ91において、処理対象のトップノードをマークする。次に当該トップノードに対して、ステップ92で未探索の下位のノードがあるかを判定する。未探索の下位ノードがある場合には、次のステップ93において、当該下位ノードをマークし、次のステップ94において、当該アークのコスト計算を行い、コスト値を更新する。そして、次のステップ95において、現在のノードがリーフノードであるかを判定する。リーフノードでない場合には、更に下位のノードが存在するので、ステップ92に戻り、ステップ92からの処理を繰り返す。ステップ95の判定で、現在のノードがリーフノードである場合、探索を行ってきた1つのパスが終了するので、ステップ96に進む。また、ステップ92において、未探索の下位ノードが存在しないことが判定された場合にも、ステップ96に進む。そして、ステップ96において、当該パスに対するコスト値の登録処理を行う。次に、ステップ97に進み、現在のノードに対して上位ノードが存在するかかを判定する。上位ノードが存在する場合は、当該パスの一部を共通にするパスが存在するので該パスにかかるコスト値を計算するため、次のステップ98において、上位ノードにバックトラックを行う。次に、ステップ99において、当該アークのコスト計算を行い、コスト値を更新する。そして、再び、下位ノードに対する探索を行うため、ステップ92に戻り、次の下位ノードに対して処理を繰り返す。また、ステップ97の判定処理において、上位ノードが存在しない場合には、当該パスにかかる処理は全て終了したので、ステップ90に戻り、次のトップノードに対して、同様な処理を繰り返す。

【0033】図10は最終コスト決定のためのパスのコスト順ソートのアルゴリズムを説明するフローチャートである。このアルゴリズムの処理は、図8のステップ82の処理に対応する。ここでのパスのコスト順ソートの処理では、深さ優先制御によるパスの枚数およびコスト計算の後に処理を開始する。まず、1つのパスを特定す

るため、ステップ101において、トップノードの選択を行い、次のステップ102において、リーフノードを選択する。そして、次のステップ103の処理で選択したトップノードとリーフノードの間のパスを枚数する。次に、ステップ104で、枚数したパスの中でコスト順の並び換えを行う。次に、リーフノードおよびトップノードをそれぞれ未選択のものに取り換えて、同様にして、パスの枚数および枚数したパスのコスト順での並び換えを行う。このため、次のステップ105では、未選択のリーフノードが存在するか否かを判定し、未選択のリーフノードがある場合には、ステップ102に戻り、ステップ102で次のリーフノードを選択して同様の処理を繰り返す。この処理は未選択のリーフノードがなくなるまで行い、未選択のリーフノードがなくなるまで、次に、トップノードに対しての処理を行う。このため、ステップ105で未選択のリーフノードが存在しないことが判定されると、次にステップ106に進み、未選択のトップノードが存在するか否かを判定し、未選択のトップノードがある場合には、ステップ101に戻り、ステップ101で次のトップノードを選択して同様の処理を繰り返す。この処理は未選択のトップノードがなくなるまで繰り返す。ステップ106で未選択のトップノードが存在しないことが判定されると、処理を終了する。これにより、枚数されたパスの全てについて、そのコスト順の並び換えが終了する。

【0034】図11は、コスト順に並び換えられバスについて評価し最終的に最適なコスト値により推論処理を行うサブネットワークを決定する処理を示すフローチャートである。図11を参照して説明する。この処理では、まず、ステップ111において、初期状態となるトップノードの設定を行う。次に、ステップ112において、当該トップノードから各リーフノードへの最小コストのパスの選択を行う。次に、ステップ113において、最小コスト候補の計算を行う。この最小コスト候補の計算処理は、選択されたパスの全ての組合せについて、合計のコストを計算することで行われる。次に、ステップ114において、コスト未計算のパスの組合せが存在するか否かを判定する。この判定で、コスト未計算のパスの組合せが存在する場合には、ステップ115に進み、パスの組合せを選択し、次のステップ116において、パスの組合せのコスト計算を行う。そして、次にステップ117において、ここでコスト計算を行った計算値が、既に計算している最小コスト候補の計算値より小さい場合には、ステップ118において、最小コスト候補の更新を行う。また、ステップ117の判定処理において、コスト計算を行った計算値が、既に計算している最小コスト候補の計算値より大きい場合は、最小コスト候補の更新を行わないので、そのまま、ステップ114に戻る。そして、次にパスの組合せに対するコスト計算を行うため、ステップ114からの処理を



繰り返し行う。なお、ステップ114において、コスト未計算のパスの組合せが存在しないと判定された場合には、全てのパスの組合せが評価し終わったので、ここでの処理を終了する。

【0035】このような一連の処理により、ルールの条件部および実行部から状態のノードと条件・検査対のアーキを生成して、状態遷移ネットワークを抽出し、状態遷移ネットワークから、各々のパスのコスト計算に基づいてサブネットワークを分離し、推論処理を行う場合の最小コストとなる推論過程のサブネットワークが選択される。この処理の概要をまとめると次のようになる。すなわち、

(1) 各ルールの条件部を取り出し、状態と条件・検査対とに分解する。状態はノードとして登録し、条件・検査対はそれぞれのコストを重みに持つアーキとして登録する。

(2) ルールの実行部を取り出し、状態部と副作用部とに分解する。状態部はノードし、副作用部はコストに重みを持つアーキとして登録する。

(3) 上記(1)～(2)の処理動作を全てのルールについて繰り返す。

(4) 条件部から取り出されたノードと、実行部から取り出されたノードに同一のものがあれば1つにする。当該ノードに付加条件が存在すれば、それをアーキとして次のノードにつなぎ、状態遷移ネットワークを形成する。

(5) 形成された状態遷移ネットワークの各々のノードに対して、上位の条件がないノード(トップノード; ルートノード)を一つ選び出す。

(6) トップノードから下位へのアーキがなくなるところ(リーフノード)までネットワークを下る。この時、パス全体のコストを深さ優先選択で到達可能なノードを全て選び出す。

(7) 上記(5)～(6)の処理動作を動作を全てのトップノードについて繰り返す。

(8) トップノードとリーフノードの対を固定し、両者を結ぶパスをコストの順に並べる。

(9) リーフノードのみを変え、上記(8)の動作を繰り返す。

(10) トップノードから各リーフノードに至るパスの内、最小のものを選び、その和をネットワーク全体のコストの第1候補とする。このとき、検査に共通なものがあれば、その分を取り除いたものを和とする。

(11) パスの全ての組合せについて、合計のコストを調べる。このとき、現在の最小コスト候補により、小さければ、それを新しい最小コストの候補とする。

(12) 最終的に残った最小コストを持つネットワークを選ぶ。

【0036】ところで、上述のような一連の処理において、判定基準を与えるための各ルールにおける条件部の

検査コストおよび実行部の実行コストは、エキスパートシステムが適用する対象により様々に変化する。このため、エキスパートシステムが適用する対象、各ルールの特性に対応してコスト決定方法を好適なものを選択することにより、更にシステム全体の運用効率を向上させることができる。各ルールに対応して設定するコストは、前述のコスト決定部11(図1)が決定する。次に、ここでのコスト決定部11の他の態様として、各ルールに対応して設定するコスト決定手法の例について説明する。

【0037】知識ベースにおけるルールの条件部の検査コストを決定する方法は、推論処理を行う対象の制御プロセス、知識ベースに格納されるルールの性格に応じて、次に例示するように分類することができ、各々の場合に対応して検査コストを決定する方法を選択する。

(1) データ蓄積型: 各ルールの条件部に対応する検査コストを、知識ベース上に各ルールの属性として予め記述しておく方法。

(2) 計算可能型: 知識ベース上のデータを基にして当該ルールの検査コストを計算して求める方法。この方法の場合の検査コストのアルゴリズムは別に与えられているものとする。

(3) 動的変化型: 推論対象の状態により検査コストが動作に変化する場合には、推論処理を行う際に、検査コストを推論対象の状態により求める方法を用いる。

(4) ユーザ指定型: 知識ベース上に検査コストを求めるために必要なデータやアルゴリズムが記述できない場合、また、記述されていない場合には対しては、ユーザに質問することによりコストを設定するコスト決定方法を用いる。

【0038】次に、上述のそれぞれの場合について、推論処理の知識ベースとなるルールの例を挙げて説明する。図12は知識ベースにルールと共に格納されている検査属性テーブルの一例を示す図であり、図13は検査コストが動的に変化する制御プロセスに対してコストを決定するコスト決定方法を説明する図である。また、図14はユーザインタフェース機能を用いて検査コストをユーザに質問して設定する場合の処理フローを説明するフローチャートである。次に、これらの図12～図14を参照して説明する。

【0039】(1)データ蓄積型: 例えば、測定点温度変化 $dT$ が設定温度 $T_{set}$ 以上であれば過熱状態であると判定する次のようなプロセス制御のルールが対象となっているとする。

IF  $dT > T_{set}$  (検査Tk) THEN D過熱  
ここのルールの条件部の検査Tkのコストに関しては、知識ベース内に、例えば、図12(A)に示すような内容を持つ検査属性テーブル120として展開されているものとする。このような場合には、検査Tkの時間

コストおよび費用コストを求めるのは、当該検査属性テーブル120から、時間コストおよび費用コストの属性値を取ってくるだけである。

【0040】(2) 計算可能型：例えば、加熱時間変化dHが設定加熱時間Th以下であるが、測定温度変化dTが設定温度Tset以上である場合には過熱状態であると判定する次のようなプロセス制御のルールが対象となっているとする。

IF  $dH < Th$  (検査To) and  $dT > Tset$  (検査Tk)  
THEN D過熱

ここでの“ $dH < Th$ ”の検査Toのコストも“ $dT > Tset$ ”の検査Tkのコストと同様に、知識ベース内に、例えば、図12(B)に示すような内容を持つ検査属性テーブル121として展開されているものとする。この場合、当該ルールの条件部の複合的な検査コストは、各々の検査コストの両者の和として計算可能である。したがって、この場合の検査コストは、当該ルールを解析する時に判定できる。なお、この場合、検査Tkと検査Toとは互いに独立であるとする。また、知識ベースにおけるルールを基にして、検査属性テーブルの属性値のコストのデータからコスト計算の手順を指定するようにしてもよい。

【0041】(3) 動的变化型：例えば、測定点温度Tnが設定下限値温度Tl以上であれば固定値データFkを“100”に設定する次のようなプロセス制御のルールが対象となっているとする。

IF  $Tn > Tl$  (検査Tp) THEN  $Fk = 100$

この場合、図13に示すように、測定点温度Tnは対象とするプロセス130内に存在する回転ドラム131の表面上の所定位置の計測点132の一点の温度であり、検査Tpはその測定点132が温度センサ133上に来た時にだけ可能であるとする。したがって、この場合、検査データが得られるまでの時間コスト、回転ドラム131の現在位置θと、角速度ωに依存する。ここでの現在位置θおよび角速度ωが共に、対象となるプロセス130の計測パラメータであるならば、検査Tpのコスト決定は、回転ドラム131の現在位置θおよび角速度ωの計測が必要となる。このため、ルールの条件部の検査コストの決定は、推論処理を行う際に、検査コストを推論対象のプロセスの状態データにより求めることになる。

【0042】(4) ユーザ指定型：知識ベース上に検査コストを求めるために必要なデータやアルゴリズムが記述されない場合、また、記述されていない場合には対しては、ユーザに質問することによりコストを設定するコスト決定方法を用いる。この場合、例えば、エキスパートシステムのユーザインタフェース機能を用いて、図14に示すような処理フローにより、知識ベースに指定された検査に関するデータが知識ベースに存在しない場合、その検査に関するデータについては、ユーザに質問

して答えを求める。処理の概要を説明すると、まず、ステップ141において、知識ベース内に対象のコストに関する記述はあるか否かを判定する。コストに関する記述がある場合には、ステップ142に進み、そのコスト記述を用いて、コスト計算処理を行う。そして、次の処理に進むため、リターン処理を行う。また、コストに関する記述がない場合には、ステップ143に進み、ユーザインタフェース機能を用いて、ユーザに質問して答えを求める処理を行う。そして、次のステップ144において、必要とする回答が得られたか否かを判定する。必要な回答が得られない場合は、失敗処理を行う失敗リターン処理を行う。必要な回答が得られた場合にはそのまま、次の処理に進むため、成功リターン処理を行う。

【0043】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明のエキスパートシステムによれば、エキスパートシステムにおいて推論を行うための知識と、その知識を適用するための知識として、コスト情報による判定基準を与える知識を用いて、知識の適用をコストという判定基準で計量して、適切な推論処理を行うようにする。これにより、エキスパートシステムにおいては、最適な推論過程により推論処理が行なわれることになるので、無駄な処理を省略することが可能となり、リアルタイム推論が可能となる。このため、プロセス制御を行うエキスパートシステムにおいても、プロセスの状況や時間的、費用的、計算機資源などの制約条件が変化しても、柔軟に対応して適切な推論が実行可能となる。また、あらかじめ推論の時間や費用などが指定された制限の範囲内で行われることが保証されるのでプロセス制御の失敗や推論費用の超過などの事態が生じることがなくなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は本発明の一実施例にかかるエキスパートシステムの要部の構成を示すブロック図。

【図2】 図2は本実施例のエキスパートシステムにおけるルールの概念を説明する図。

【図3】 図3は、問題解決の推論を行う推論過程を示すルールの連鎖から抽出されたコストの重み付けされた状態遷移ネットワークの一例を示す図。

【図4】 図4はエキスパートシステムにおいて最適な推論過程を選択して推論処理を行うまでの前処理の流れを示すフローチャート。

【図5】 図5は、故障入問題の推論処理を行うエキスパートシステムにおけるルールの一例を示す図。

【図6】 図6は、故障入問題のルール群により抽出された状態遷移ネットワークの推論ネットワークの一例を示す図。

【図7】 図7はネットワーク抽出処理の他の処理例を説明するためのフローチャート。

【図8】 図8は最終コスト決定の全体の概略処理フローを示すフローチャート。

【図9】 図9は最良コスト戦略決定のアルゴリズムを説明するフローチャート、

【図10】 図10は最終コスト決定のためのバスのコスト順ソートのアルゴリズムを説明するフローチャート、

【図11】 図11はコスト順に並び換えられバスについて評価し最終的に最適なコスト値により推論処理を行うサブネットワークを決定する処理を示すフローチャート、

【図12】 図12は知識ベースにルールと共に格納される検査属性テーブルの一例を示す図、

【図13】 図13は検査コストが動的に変化する制御プロセスに対してコストを決定するコスト決定方法を説明する図、

【図14】 図14はユーザインタフェース機能を用いて検査コストをユーザに質問して設定する場合の処理フローを説明するフローチャート、

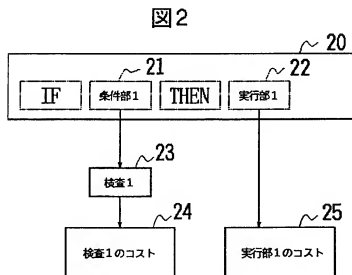
【図15】 図15は従来のリアルタイムエキスパート\*

\* システムの構成例を示す図である。

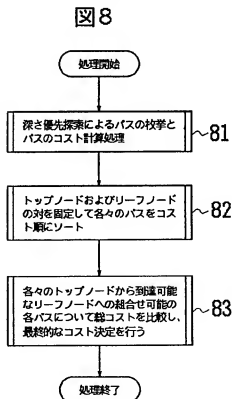
# 【符号の説明】

1…知識データベース、2…推論処理部、3…データ入出力管理部、4…データベースアクセス部、5…データベース、6…プロセスデータ入出力管理部、7…外部プロセス、10…知識ベース、11…コスト決定部、12…ネットワーク抽出部、13…コスト計算部、14…推論処理部、15…データ入出力管理部、16…データベースアクセス部、17…プロセスデータ入出力管理部、18…データベース、19…外部プロセス、20…ルール、21…条件部、22…実行部、23…検査部、24…検査コスト部、25…実行コスト部、31、32…サブネットワーク、50～59…ルール、61、62…サブネットワーク、120、121…検査属性テーブル、130…プロセス、131…回転ドラム、132…計測点、133温度センサ、134…エキスパートシステム。

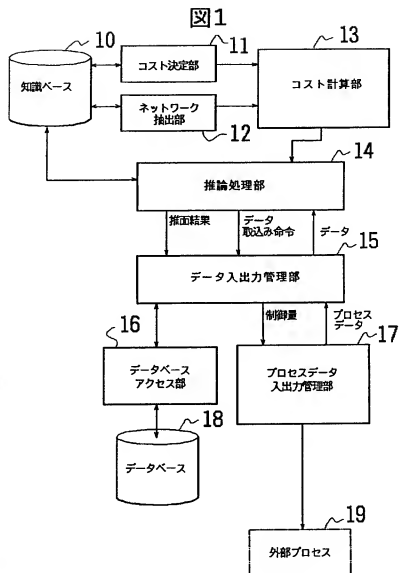
【図2】



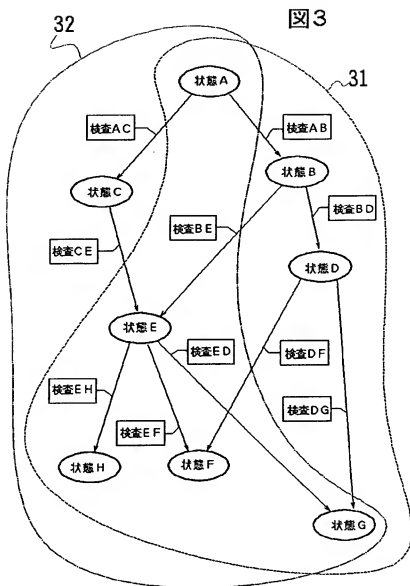
【図8】



【図1】

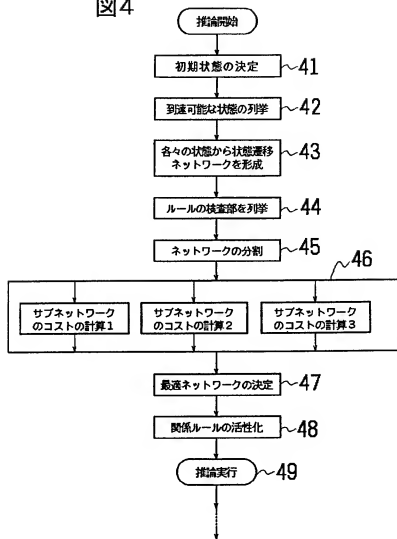


【図3】



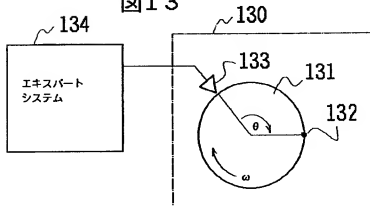
【図4】

図4



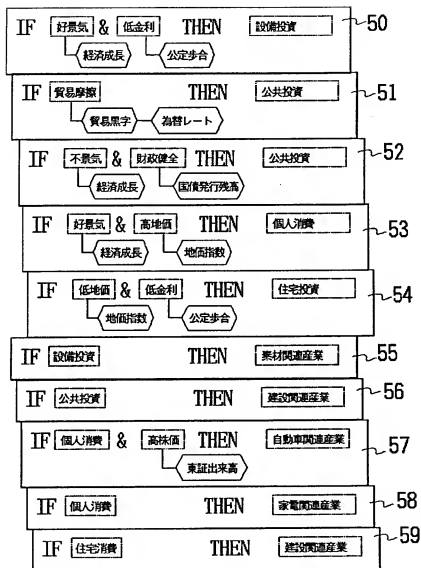
【図13】

図13



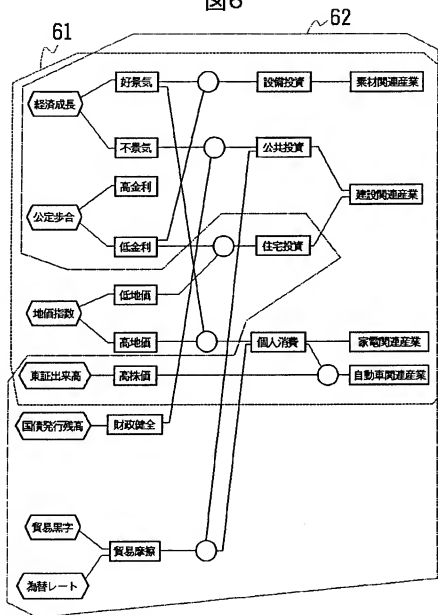
【図5】

図5



【図6】

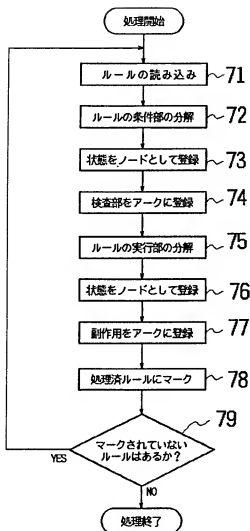
図6





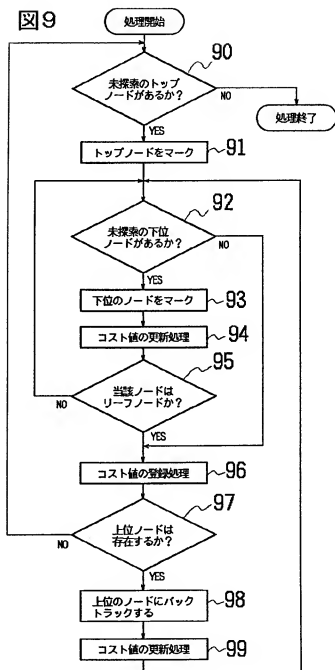
【図7】

図7



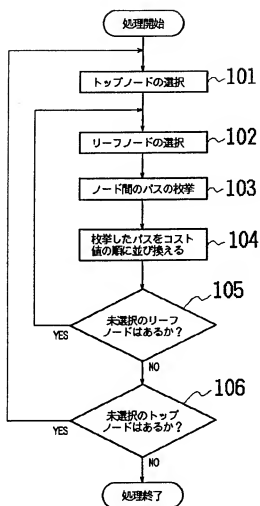
【図9】

図9



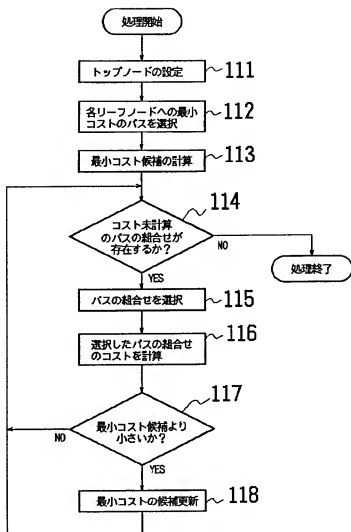
【図10】

図10



【図11】

図11



【図12】

図12 (A) 120

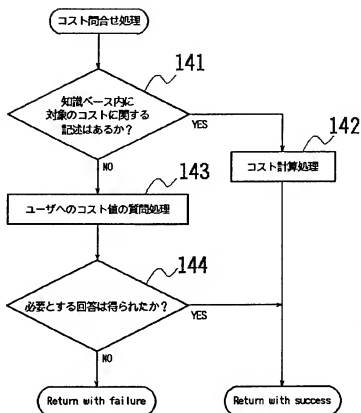
検査名	Tk
対象物	ドラム表面
時間コスト	0.1 sec
費用コスト	0 円
下限値	0 °C
上限値	100 °C

図12 (B) 121

検査名	To
対象物	フューズ
時間コスト	$Tn * 100 + 0.5 \text{ sec}$

【図14】

図14



【図15】

図15

